

# МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ОХЛАЖДАЮЩИХ СРЕД

*Майсурадзе М.В.<sup>1,2</sup>, Рыжков М.А.<sup>1</sup>, Юдин Ю.В.<sup>1</sup>, Дюсимбаев О.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГАОУ ВПО УрФУ, г. Екатеринбург

<sup>2</sup>ЗАО «Машиностроительный Холдинг», г. Екатеринбург

**20983@rambler.ru**

Рассмотрена методика определения охлаждающей способности закалочных сред на основе анализа траекторий охлаждения цилиндрического термозонда. Учет критерия Био позволяет получить соответствие экспериментальных данных и результатов численного решения обратной задачи теплопроводности.

При термической обработке стали правильный выбор закалочных сред оказывает решающее влияние на качество изделий. В настоящей работе рассматривается возможность применения специально сконструированного термозонда для определения охлаждающей способности сред, традиционно применяемых для термической обработки (вода, масло, воздух).

Термозонд (рис. 1) представляет собой цилиндр из стали 12Х18Н10Т, в центре которого находится регистрирующая термопара типа ХА диаметром 1,5 мм. Температура нагрева термозонда составляла 840...860 °С, время выдержки – не менее 15...20 мин.

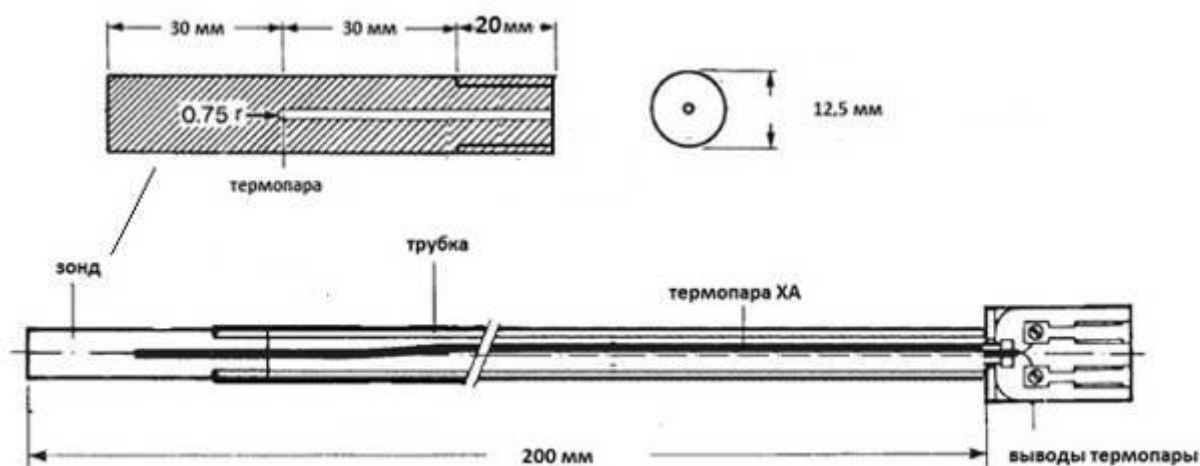


Рис. 1. Эскиз термозонда

Охлаждение термозонда производили в перемешиваемой воде комнатной температуры, закалочном масле и на спокойном воздухе. В результате экспериментов были получены траектории охлаждения термозонда, которые использовались для расчета коэффициента теплоотдачи по формуле [1]:

$$\alpha = (c \cdot \rho \cdot \delta \cdot v) / (t - t_c), \quad (1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>К),  $c$  – удельная теплоемкость охлаждаемого металла, Дж/(кг\*К),  $\rho$  – плотность стали, кг/м<sup>3</sup>,  $\delta$  – расстояние от поверхности до горячего спая термопары, м,  $v$  – скорость охлаждения в данный момент времени, °С/с,  $t$  – температура металла в данный момент времени, °С,  $t_c$  – температура охлаждающей среды, °С.

Также для определения коэффициента теплоотдачи охлаждающих сред была решена обратная задача теплопроводности путем численного моделирования процесса охлаждения термозонда по методике [2]. Установлено, что рассчитанные по формуле (1) значения коэффициента теплоотдачи в случае охлаждения в воде и масле оказались ниже, чем определенные в ходе численного моделирования (рис. 2). Это связано с тем, что при высокой интенсивности охлаждения используемый термозонд является теплотехнически массивным, т.е. возникает существенный перепад температур между его поверхностью и осью, на которой производится измерение температуры.

Для оценки массивности изделия при нагреве и охлаждении используется критерий Био,  $Bi$ , и коэффициент массивности,  $m$  [3]. Расчет данных величин ведется по формулам:

$$Bi = \alpha \cdot \delta / \lambda, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, определенный по формуле (1) для каждого момента времени, Вт/м<sup>2</sup>К;  $\delta$  – характеристический размер тела (в данном случае – радиус термозонда);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала термозонда, Вт/м\*К.

$$m = 1 + Bi / (k + 2), \quad (3)$$

где  $k = 2$  для цилиндрического термозонда.

В результате, введя в формулу (1) коэффициент массивности  $m$ , получим:

$$\alpha = (c \cdot \rho \cdot \delta \cdot v \cdot m) / (t - t_c). \quad (4)$$

Установлено, что зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры, определенная по формуле (4), удовлетворительно совпадает с результатами численного моделирования (рис. 2).

Таким образом, имеется возможность использовать предлагаемую методику для быстрой оценки охлаждающей способности закалочных сред в

производственных условиях, не прибегая к численному моделированию процесса охлаждения для решения обратной задачи теплопроводности.

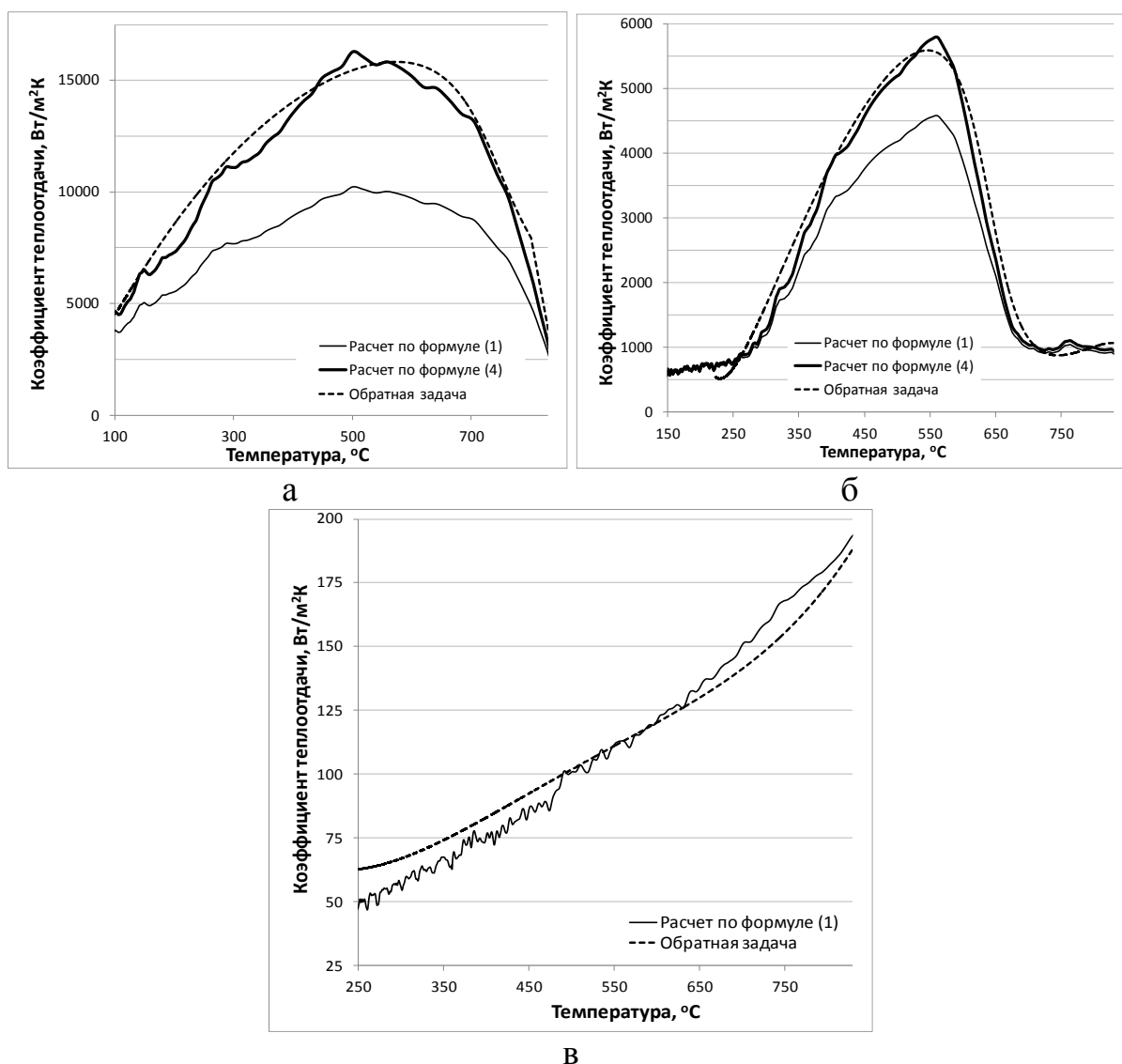


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи от температуры поверхности термозонда: а) охлаждение в перемешиваемой воде; б) охлаждение в спокойном масле; в) охлаждение на спокойном воздухе

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Будрин Д.В. Водно-воздушное охлаждение при закалке / Д.В. Будрин, В.М. Кондратов // Металловедение и термическая обработка металлов. 1965. №6. С. 22...25.
2. Майсурадзе М.В. Методика численного моделирования процесса охлаждения при термической обработке стальных изделий простой формы / М.В. Майсурадзе, Ю.В. Юдин, М.А. Рыжков // Сталь. 2013. №10. С. 90...94.

3. Эйсмонтт Ю.Г. Термическое оборудование и его расчет: учеб. пос. в 4 кн. Кн. 2. Охлаждающее и вспомогательное термическое оборудование / Ю.Г. Эйсмонтт. Челябинск: ЮУрГУ, 1997. 159 с.